УДК 553.3[illegible]

АНОМАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗОН СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МАЙСКО-ЛЕБЕДСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА

В.Г. Ворошилов, В.Н. Санин*, Т.В. Тимкин

Томский политехнический университет
E-mail: voroshilovvg@ign.tpu.ru
*ООО «Тэтис-технолоджи», г. Новокузнецк

Исследованы состав и зональность метасоматитов и руд золоторудного узла на стыке структур Горного Алтая, Западного Саяна и Горной Шории. Показан полихронный характер формирования аномального геохимического поля, определены минералого-геохимические параметры различных фаций метасоматитов и руд, что позволяет прогнозировать вещественное наполнение аномальных структур геохимических полей в пределах рудного узла.

Проблема вещественного выражения аномальных геохимических полей – одна из важнейших в прикладной геохимии, поскольку только выявление состава и взаимоотношений минеральных комплексов позволяет нам объективно интерпретировать строение геохимического поля как интегральной составляющей длительной истории развития геологических объектов. Особой тщательности решение этого вопроса требует в случае полихронного развития процессов концентрации и перераспределения вещества, в которых золотое оруденение может быть связано с различными эпизодами гидротермальной деятельности.

Изучение аномальных геохимических полей проведено в комплексе с детальным минералогическим картированием метасоматитов и руд, с использованием петрографических, электронно-микроскопических и микрозондовых исследований. Геометризация выявленных аномальных структур геохимического поля выполнена в соответствии с методикой, опубликованной нами ранее [1].

Майско-Лебедской золоторудный узел приурочен к области сочленения салаирско-каледонских и каледонско-герцинских структур Горной Шории, Западного Саяна и Горного Алтая, что обусловило длительную историю его формирования с неоднократными импульсами тектоно-магматической активности и гидротермальной деятельности [2].

В венд-нижнекембрийское время рассматриваемый район входил в состав Алтае-Кузнецко-Западносаянского вулкано-плутонического пояса и на его территории, в условиях вначале примитивной, а затем зрелой островной дуги, сформировалась толща вулканитов среднего-основного состава, дифференциатов толеитового базальтового расплава, с редкими прослоями известняков и песчаников (садринская свита). В пределах рудного узла эти отложения заполняют Каурчакскую палеокальдеру, где их мощность достигает 1000...1200 м. Последовательная дифференциация базальтового расплава привела в итоге к экстракции из него сульфидной жидкости, в результате чего в описываемых вулканитах повсеместно проявлена сингенетичная вкрапленность сульфидов, с которыми мы связываем общее обогащение пород золотом на уровне нескольких кларков концентрации.

В среднем-верхнем кембрии островодужный режим сменился коллизионным, результатом чего явились региональный зеленосланцевый метаморфизм и последующее формирование гранитоидов садринского комплекса (верхний кембрий-нижний ордовик). Их становление путем магматического замещения обусловило привнос эндогенных и перераспределение рассеянных в вулканитах металлов с образованием многоярусных рудно-метасоматических систем с месторождениями комплексного состава (Fe, Cu, Mo, Au) [3].

С девона по палеоген регион развивался в платформенном режиме. Вспышки тектоно-магматической активности связываются в этот период с внутриплитным рифтогенезом. Наиболее мощная активизация, которая произошла в девоне, привела к формированию контрастной базальт-риолитовой формации вулканитов и комагматичных им небольших массивов, штоков и даек габброидов, монцодиоритов, сиенит-порфиров, граносиенитов, щелочных гранитов. С этими интрузиями связано золото-серебряное оруденение в пропилитизированных и березитизированных вулканитах девонского возраста. Несомненно, что внедрение многочисленных тел этого комплекса в породы садринской свиты должно было привести и к заметному перераспределению гидротермальной минерализации каледонского цикла.

С платформенным этапом развития связано также формирование мощных кор выветривания, от которых в районе сохранились небольшие фрагменты.

Зональность руд и метасоматитов Майского золото-магнетит-скарнового месторождения детально описана в литературе [4], поэтому остановимся подробнее на характеристике прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации, сменяющей вверх по вертикали золото-скарновое и медно-золото-порфировое оруденение и широко распространенной в виде крутопадающих субмеридиональных зон в пределах Каурчакской палеокальдеры. Минерало-геохимическую зональность этих зон рассмотрим на примере участка Семеновского (рис. 1).

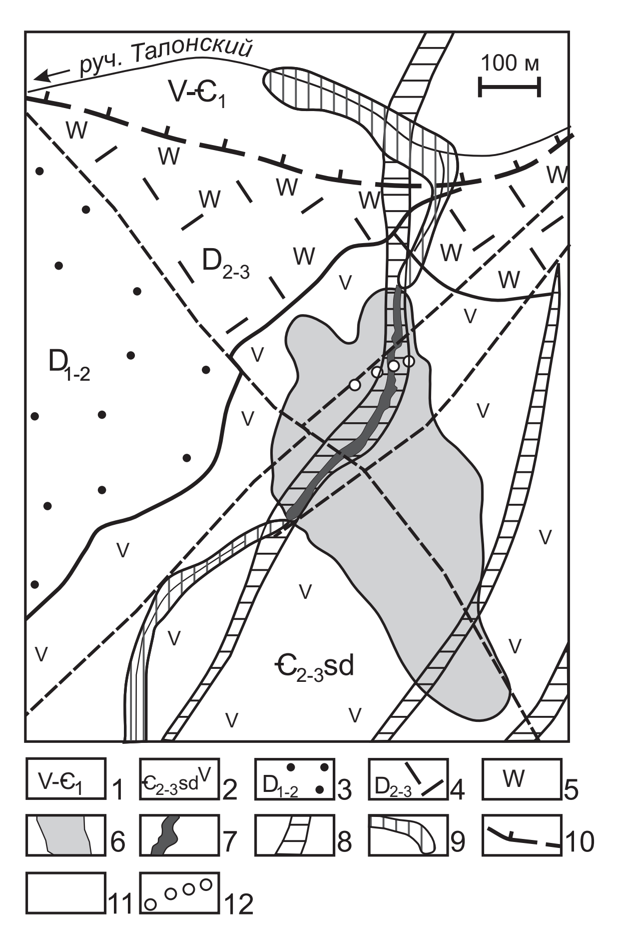


Рис. 1. *Схематическая геологическая карта Семеновского участка: 1) венд-нижнекембрийские отложения: базальты, известняки, сланцы; 2) вулканогенные отложения садринской свиты; 3) терригенная толща нижнего-среднего девона; 4) средне-верхнедевонские вулканиты среднего-кислого состава; 5) вторичные кварциты; 6) рыхлые образования, относимые к коре выветривания; 7) золотоносное тело в основании «коры выветривания»; 8) основные золото-сульфидные зоны; 9) аллювиальные россыпи золота; 10) Талонский надвиг; 11) разрывные нарушения; 12) линия скважин 38–8–9–10*

Значительная часть площади участка закрыта рыхлыми образованиями мощностью 20...30 м, относимыми к коре выветривания. Переслаивание глинистых, песчано-глинистых, обломочно-глини-

стых прослоев свидетельствует, по мнению большинства исследователей, о перемещенном характере коры [3]. Есть, однако, ряд фактов, трудно объяснимых с этой точки зрения. Основание коры выветривания представляет собой почти ровную тарелкообразную поверхность без признаков наличия палеодолины и совершенно непонятно, как в этих условиях могла сформироваться линейно вытянутая россыпь протяженностью около 600 м при ширине около 20 м и с содержаниями золота до 200 г/м^3. Настораживает также наличие неокисленных сульфидов (пирит, халькопирит) и игольчатых кристаллов турмалина в основании коры выветривания. С перемещенным характером коры плохо согласуется и наличие типоморфных для золото-серебряного оруденения геохимических ассоциаций, которые в случае размыва и перемещения пород должны были разрушиться и трансформироваться.

Указанные несоответствия снимаются, если принять предлагаемую нами гипотезу: описываемые рыхлые образования представляют собой фрагмент выветрелой с поверхности субгоризонтальной зоны аргиллизации, сформировавшейся по зоне надвига. В пользу этого свидетельствуют: наличие в основании коры выветривания полуокатанных обломков пород, сцементированных структурным эллювием того же состава (тектоническая брекчия) и состав обломков в верхней части рыхлых отложений (известняки, окварцованные известняки, кварциты), соответствующий составу пород в зоне Талонского надвига, расположенного в 200...300 м севернее описываемого участка. Чередующиеся в разрезе рыхлых отложений глинистые прослои могут в этом случае рассматриваться как первоначально тектоногенные образования, подвергшиеся впоследствии аргиллизации и, частично, выветриванию. Находит объяснение и послойный характер распределения типоморфных геохимических ассоциаций. Линейно вытянутое золотоносное тело в основании «коры выветривания» в рамках предлагаемой гипотезы интерпретируется как подэкранная залежь, связанная с подпруживанием плоскостью надвига крутопадающих золотоносных структур. Принятие предлагаемой концепции вносит также дополнительный элемент определенности в процесс геометризации выявленных в процессе поискового бурения золотоносных зон.

Вулканогенные образования садринской свиты представлены на участке толщей чередующихся лав, туфов андезитов и туфопесчаников, подвергшихся средне-низкотемпературной пропилитизации актинолит-хлоритовой и эпидот-хлоритовой ступеней. Концентрация в породах актинолита, эпидота, хлорита устойчиво коррелируется с повышенными концентрациями Cr, Ni, V, что позволяет считать аномалии этих элементов индикаторами процесса пропилитизации. Основным концентратором Cr, Ni, V служит вкрапленный пирит, количество которого в зонах пропилитизации значительно возрастает.

Метасоматоз кислотной стадии сопровождается формированием достаточно локально проявленных кварцево-серицитовых и серицитовых метасоматитов. Во внешней зоне они сопровождаются карбонатизацией и хлоритизацией, что позволяет отнести данные образования к березитовой формации. По отношению к пропилитам березиты занимают секущее положение и приурочены к крутопадающим зонам проницаемости (рис. 2).

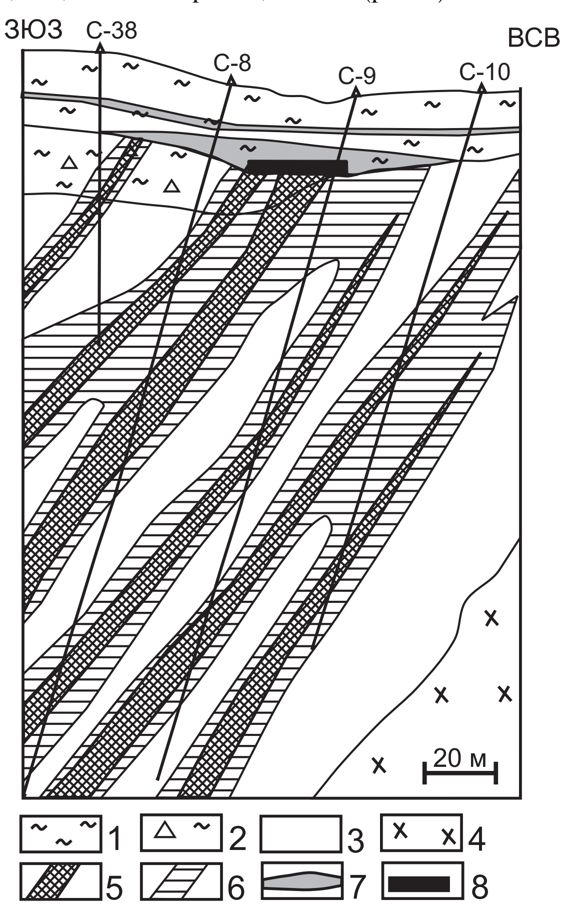


Рис. 2. *Распределение фаций березитов в разрезе по линии скважин 38–8–9–10: 1) выветрелые аргиллизированные породы; 2) обломочно-гидрослюдистый структурный эллювий; 3) пропилитизированные вулканиты; 4) девонские микродиориты, предполагаемые по геофизическим данным; зоны березитов: 5) внутренняя кварцево-серицитовая; 6) внешняя карбонатно-хлоритовая; 7) участки развития типоморфных для золотого оруденения геохимических ассоциаций в рыхлых породах; 8) подэкранная золотоносная залежь*

Сопряженная жильная минерализация проявлена во внутренних зонах березитов вкрапленностью сульфидов и прожилками кварца, серицита, карбоната с сульфидной минерализацией и золотом. Рудный комплекс минералов представлен пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, тетраэдритом, золотом, теллуридами висмута и сульфосолями. Объем сульфидной вкрапленности может достигать десятков %, поэтому зоны березитов фиксируются высококонтрастными аномалиями Pb, Zn, As, Cu, Ag, Bi, Au. Отмечается некоторая

пространственная разобщенность ассоциаций Pb-Zn-As-Cu-Au и Cu-Ag-Bi-Au. В сравнении с пропилитами, пирит из зон березитизации обогащен Co, значительно обеднен Cr, Ni, V и характеризуется более высоким отношением кларков концентрации Ni/Cr (от 2 до 5 на фоне 0,1...1,0 в пропилитах).

Этап девонской активизации сопровождался формированием аргиллизитов и золотоносной залежи в зоне надвига, дальнейшим перераспределением золота и элементов-спутников, перекристаллизацией сульфидов в зонах березитизации. В высокопроницаемых породах надвига в это время, очевидно, сформировалась пародоминирующая гидротермальная система, отделенная от нижележащих пород границей пар-жидкость, на которой, вследствие вскипания гидротермальных растворов происходило отложение рудной минерализации. Внутри паровой системы, на фоне резкого возрастания кислотности среды, осуществлялся метасоматоз аргиллизитового типа. Подобный сценарий обычен для современных гидротермальных систем Камчатки и подробно описан в литературе [5]. Дополнительным благоприятным для оруденения фактором было наличие экранирующих глинистых горизонтов в составе надвиговой пластины. Подток горячих растворов происходил вдоль крутопадающих проницаемых зон, в том числе, представленных сульфидизированными березитами. Воздействием этих процессов, очевидно, и объясняется резкая изменчивость типоморфных свойств пирита в пределах единых золотоносных зон. Нами установлено, что доля кристаллов пирита с электронным типом проводимости составляет 0...30 % в зонах преобладания парагенезиса Pb-Zn-As-Cu-Au, а на участках развития ассоциации Cu-Ag-Bi-Au возрастает до 70...100 % (рис. 3). Здесь же исчезают кристаллы пирита 1-го морфологического типа (чистые кубы) и появляются сложные кристаллы куб-пентагондодекаэдрического и пентагон-октаэдрического габитусов. Их особенностью является развитие на всех кристаллах грани октаэдра, не встречающейся в участках преобладания свинцово-цинковой минерализации.

Столь резкие отличия типоморфных свойств пирита в пределах единых березитовых тел отражают существенно разные условия минералообразования двух ассоциаций и не могут быть объяснены зональностью отложения. Очевидно, речь идет о разновременных парагенезисах. Учитывая пространственную разобщенность этих ассоциаций на Майском месторождении и теллуридно-висмутовую специализацию девонских золото-серебряных проявлений, можно заключить, что медно-теллуридно-висмутовая золото-серебряная минерализация Семеновского участка связана с девонской тектоно-магматической активизацией региона. Исследование рудной минерализации оптическими методами, а также на сканирующем электронном микроскопе и на микроанализаторе подтверждают этот вывод. В составе теллуридно-висмутовой минерализации нами установлены теллуровисмутит, цумоит, тетрадимит, бенжаминит (цумоит и бенжаминит впервые для рудного узла), которые пространственно дистанцируются от галенит-сфалеритового парагенезиса.

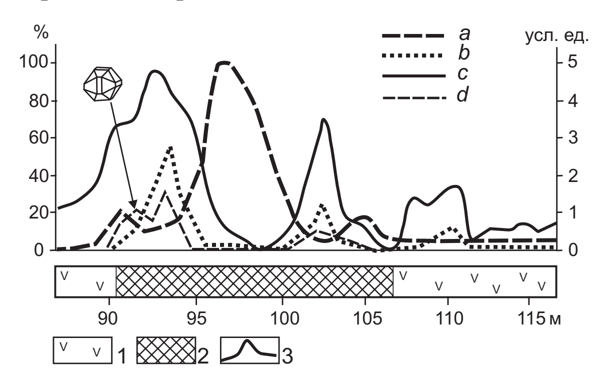


Рис. 3. *Пространственные взаимоотношения золотоносных геохимических ассоциаций и типоморфных свойств пирита (скв. 8, участок Семеновский): 1) туфы андезитов; 2) сульфидизированные березиты; 3) графики: a) интенсивность развития ассоциации Pb-Zn-As-Cu-Au (в условных единицах); b) то же для ассоциации Cu-Ag-Bi-Au; c) встречаемость пиритов с электронным типом проводимости (в %); d) встречаемость кристаллов пирита с гранью октаэдра (в %)*

Аномальная структура геохимического поля в плоскости рассматриваемого разреза представляет собой интегральный результат всех вышеописанных процессов. Для ее выявления и геометризации нами было использовано несколько методов. Общая структура аномального геохимического поля оценивалась с помощью факторного анализа. Этим методом выявлено три основных геохимических ассоциации, отражающих главные процессы перераспределения вещества (рис. 4).

Наибольший вклад в общую дисперсию дает *фактор* 1 (Au, Pb, Cu, Zn, Ag, Co, Bi, As), отражающий интенсивность рудообразующего процесса. Аномальными значениями фактора характеризуются крутопадающие зоны сульфидизированных березитов. Внешней карбонатной зоне березитов свойственны также повышенные концентрации Sr и Mn. *Фактор* 2 (Ba, Zr, Ti) объединяет элементы, накапливающиеся в выветрелых аргиллизированных породах. Его максимальные значения характерны для рыхлых отложений, а также фиксируют крутопадающую структуру, связанную с подэкранной залежью, что может свидетельствовать о проникновении аргиллизации на некоторую глубину вдоль крутопадающих зон. *Фактор* 3 (Cr, Ni), который параллелизуется с процессом пропилитизации, характеризуется максимальными значениями по периферии аномальной структуры, где интенсивность березитизации снижается. Таким образом, в пропилитах внутренней (ядерной) зоны аномальной структуры геохимического поля пирит значительно перекристаллизован под воздействием кислотного метасоматоза и потерял часть Cr и Ni. Это следует учитывать при геометризации метасоматических зон по геохимическим данным.

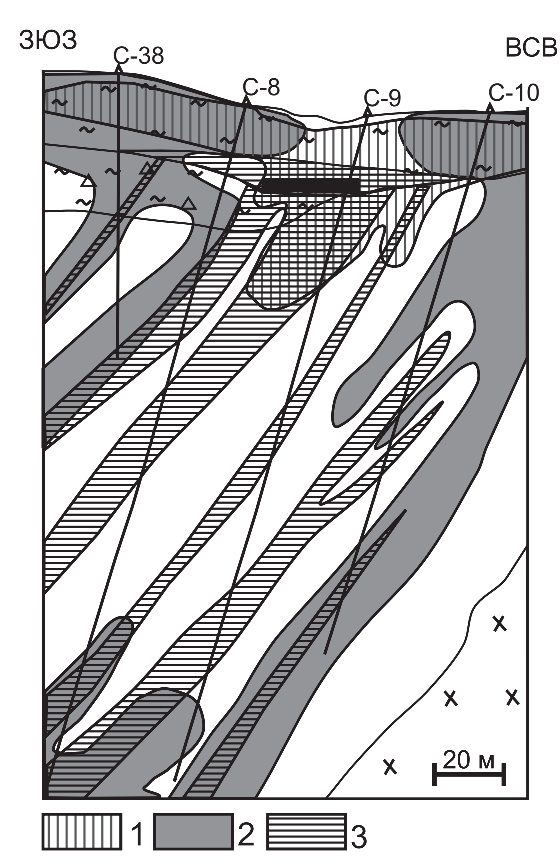


Рис. 4. *Структура аномального геохимического поля в плоскости разреза по линии скважин 38–8–9–10 по данным факторного анализа: геохимические ассоциации: 1) Ba, Zr, Ti; 2) Cr, Ni; 3) Au, Pb, Cu, Zn, Ag, Co, Bi, As*

Дополнительную информацию о зональности аномального геохимического поля дают коэффициенты относительной концентрации (ОК) родственных элементов, нормированные по недифференцированным хондритам [6]. Их значения закономерно меняются в процессе эволюции магматических и гидротермально-метасоматических систем различного ранга. Использованы коэффициенты ОК Co:Ni, ОК Pb:Zn, ОК Ag:Au. Хром, кобальт и никель в целом выносятся в процессе кислотного выщелачивания, переотлагаясь затем в стадию сопряженной пиритизации в зонах березитов. Отношение Co:Ni при этом существенно возрастает, поэтому максимальными значениями ОК Co:Ni фиксируются внутренние зоны березитов, а для внешних зон характерны повышенные значения отношения Ni:Cr. Свинец и цинк являются ведущими элементами-спутниками золоторудной минерализации, поэтому отношение Pb:Zn закономерно возрастает в процессе движения и эволюции потока золотоносных флюидов. Максимальные значения ОК Pb:Zn характерны, соответственно, для верхнерудных и надрудных частей первичных ореолов. Максимальные значения ОК Ag:Au фиксируются обычно в зальбандах и на выклинивании золоторудных тел, а в масштабах месторождений – по их периферии. Геометризация названных показателей в плоскости описываемого разреза показывает, что скважинами вскрыты две кулисообразно расположенных гидротермально-метасоматических зоны, из которых верхняя имеет выход на поверхность, а нижняя, по-существу, является слепой (рис. 5).

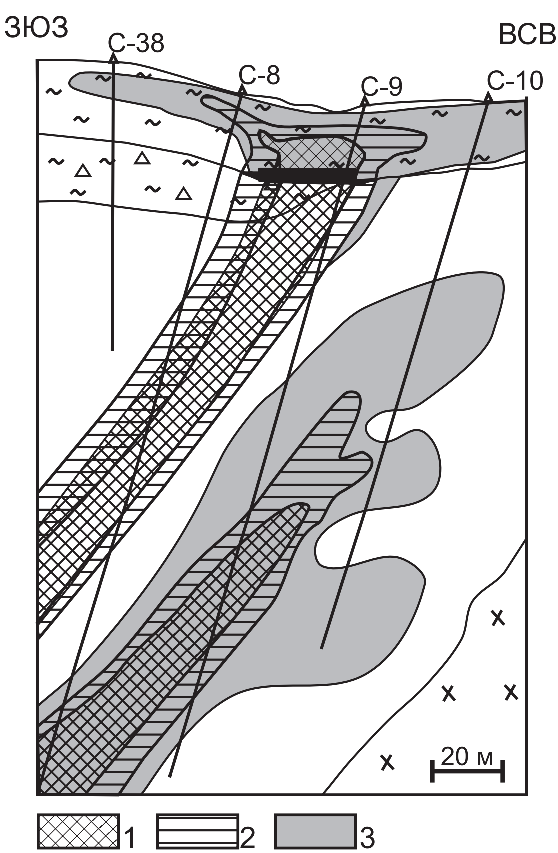


Рис. 5. *Участки максимальных значений коэффициентов относительной концентрации элементов в плоскости разреза по линии скважин 38–8–9–10: 1) Co:Ni; 2) Ag:Au; 3) Pb:Zn*

Наличие двух кулисообразно расположенных золотоносных зон, круто падающих в западном направлении, подтверждается также геометризацией значений индексов центробежности, методика расчета которых обсуждалась нами ранее [1].

Выявленные закономерности соотношений геохимической и минералогической зональности могут использоваться для идентификации зон метасоматических изменений в условиях зоны гипергенеза. На рис. 6 показан результат подобной расшифровки по канаве 171, пройденной на одном из участков рудного узла. По наличию ассоциации Cr, Co, Ni во вскрытых канавой выветрелых породах выявлено пять участков пропилитизации, с которыми связаны два типа зон милонитизированных пород. Первые слабо золотоносны и фиксируются ассоциацией Mo, Pb, Ti, V (элементы, накапливающиеся в процессе выветривания пород). Вторые промышленно золотоносны, характеризуются максимальным развитием ассоциации Au, Cu, Zn, Ag, Bi, As на фоне минимума содержаний Cr, Co, Ni и,

очевидно, являются выветрелыми телами сульфидизированных березитов. Первый тип, судя по всему, представляет собой надрудные части первичных ореолов.

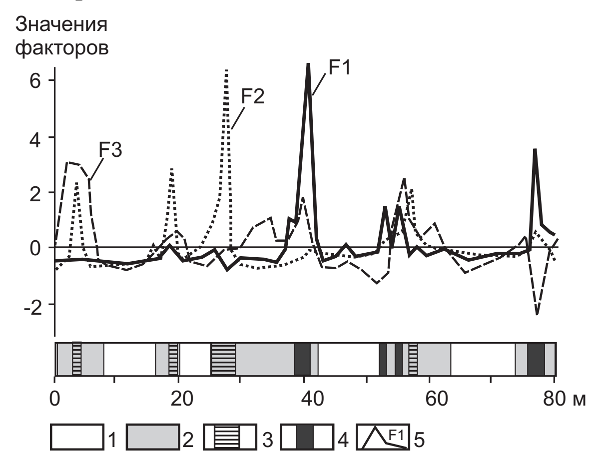


Рис. 6. *Геолого-геохимический разрез по полотну канавы 171: 1) туфы андезитов; 2–5) геохимические ассоциации: 2) фактор F3 (Cr, Co, Ni): зоны пропилитизации; 3) фактор F2 (Mo, Pb, Ti, V): слабо золотоносные зоны дробления; 4) фактор F1 (Au, Cu, Zn, Ag, Bi, As): золотоносные зоны сульфидизированных березитов; 5) графики значений факторов*

Сходные ассоциации элементов установлены и в рыхлых породах. Следовательно, во вторичном геохимическом поле наиболее благоприятным для обнаружения промышленных золотоносных тел является пространственное совмещение положительных аномалий Au, Cu, Zn, As, Ag, Bi, Te и зон выноса Cr и Ni.

Заключение

В пределах Майско-Лебедского рудного узла в течение каледонского этапа тектогенеза последовательно сформированы метасоматиты пропилитовой и березитовой формаций. Тела пропилитов характеризуются повышенными концентрациями Cr, Co, Ni. При березитизации и сопряженной сульфидизации происходит вынос и перераспределение этих элементов и привнос Cu, Zn, As, Au. В период девонской активизации происходило возобновление метасоматических процессов пропилитизации и березитизации, а также аргиллизация пород в зоне надвига. На этом этапе наиболее интенсивно привносились Au, Ag, Bi, Te. Аномальные структуры геохимических полей зон сульфидизации сформировались в результате интегрального воздействия всех названных процессов. Зональность этих структур заключается в накоплении Au, Cu, Zn, As, Ag, Bi, Te в их центральной зоне, выносе из нее Cr, Ni и переотложении их по периферии структур. Надрудная часть ореолов фиксируется повышенными значениями ОК Pb:Zn, а в гипергенных условиях – также аномалиями Pb, Mo, Ti, V в зонах милонитизированных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилов В.Г. Методика выявления структуры аномальных геохимических полей рудных месторождений // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 55–61.
2. Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Руднев С.Н. Геологическое строение, магматизм и метаморфизм Горной Шории как одного из типовых регионов Алтае-Саянской складчатой области // Актуальные вопросы геологии и минерагении Юга Сибири: Матер. Всеросс. научно-практич. конф. – Новосибирск, 2001. – С. 18–30.
3. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 250 с.
4. Сараев В.А. К геологии и металлоносности района Лебедского золото-скарнового месторождения // Известия Томского политехнического института. – 1968. – Т. 134. – С. 46–57.
5. Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Рычагов С.Н., Гунин В.И. Гидротермальные системы с паровыми резервуарами. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. – 184 с.
6. Щербаков Ю.Г. Космогеохимическая систематика элементов и металлогенический анализ // Геохимия золота и редких элементов / Под ред. Ю.Г. Щербакова. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 5–11.